

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

00 P21552
12 Offenlegungsschrift
11 DE 3933 142 A 1

21 Aktenzeichen: P 39 33 142.3
22 Anmeldetag: 3. 10. 89
43 Offenlegungstag: 19. 4. 90

51 Int. Cl. 5:
A61 F 2/00
A 61 B 6/03
B 29 C 35/08
B 29 C 33/40
A 61 L 27/00
// A61F 2/28, 2/30,
B29K 33:00

DE 3933142 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31
17.10.88 WO PCT/DE88/00639

71 Anmelder:
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

72 Erfinder:
Schmitt, Thomas, Dipl.-Ing. (FH), 8550 Forchheim,
DE

54 Verfahren zur Herstellung eines maßstäblichen dreidimensionalen Modells eines Körperteiles sowie
Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines maßstäblichen dreidimensionalen Modells eines zu einem Körper eines Lebewesens (1) gehörigen Körperteiles. Dabei werden mittels eines Schnittbildgerätes (2) Schnittbilder von durch den Körper des Lebewesens (1) verlaufenden, das Körperteil enthaltenden Schichten (7) angefertigt und aus diesen Daten bezüglich der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles gewonnen, anhand derer mittels eines Modellgenerators das Modell durch Urformen aus einem Modellwerkstoff derart erzeugt wird, daß das Modell für jedes Volumenelement des Körperteiles ein entsprechendes Volumenelement eines Modellwerkstoffes enthält. Das Modell entspricht dem Körperteil also auch hinsichtlich etwa in diesem enthaltener Hohlräume völlig. Die Erfindung betrifft außerdem eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

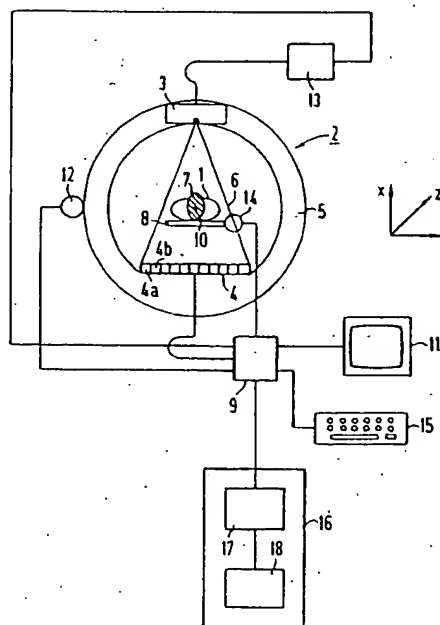


FIG 1

DE 3933142 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines maßstäblichen dreidimensionalen Modells eines zu einem Körper eines Lebewesens gehörigen Körperteiles sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Es ist aus den verschiedensten Gründen wünschenswert, auf nicht invasivem Wege Informationen über die dreidimensionale Gestalt von Körperteilen, wobei unter Körperteilen auch innere Organe, Teile des Skeletts und des Bewegungsapparates, Tumore, Konkrementen, usw. verstanden werden sollen, zu gewinnen. Zum Beispiel ist es anhand derartiger Informationen möglich, chirurgische Eingriffe zu planen. Außerdem können solche Informationen zur Herstellung und Anpassung künstlicher Körperteile, z.B. Gelenke oder Venen, von Bedeutung sein. Es besteht auch die Möglichkeit, anhand solcher Informationen das Wachstum von Tumoren oder Konkrementen zu dokumentieren.

Ein Verfahren zur Herstellung eines dreidimensionalen Modells eines Körperteiles ist in dem Artikel "Klinische Anwendungen der dreidimensionalen Oberflächenrekonstruktion aus CT-Scans — Erfahrungen bei 250 Untersuchungen" von M.W. Vannier et al., Elektromedica 51 (1983), Heft 4, Seiten 122 bis 131, beschrieben. Bei diesem Verfahren werden mittels eines Schnittbildgerätes, nämlich eines Computertomographen, Schnittbilder einer Anzahl von durch den Körper des Lebewesens verlaufenden, das Körperteil enthaltenden Schichten angefertigt. Aus den Schnittbildern werden Daten ermittelt, die den äußeren Umrissen der in den Schnittbildern enthaltenen Schichten des Körperteiles entsprechen. Anhand dieser Daten werden entsprechende Schichten aus einem Modellwerkstoff, z.B. Aluminiumblech, ausgeschnitten und zu einem dreidimensionalen Modell des Körperteiles zusammengesetzt, das hinsichtlich der Gestalt seiner äußeren Oberfläche dem Körperteil entspricht.

Ein ähnliches Verfahren zur Herstellung eines Modells eines Körperteiles ist in dem Artikel "Ein Kopf wird kopiert", Uwe Kierst, Hobby 9/87, Seiten 62 bis 64, beschrieben, wobei das Modell mittels einer numerisch gesteuerten Fräsmaschine aus einem Block eines Modellwerkstoffes herausgefräst wird.

Verfahren zur Herstellung von Modellen von Körperteilen anhand entsprechender Computer-Tomographie-Daten, sei es durch Fräsen des Modells aus vollem Material, sei es durch Zusammensetzen des Modells aus einer Vielzahl von Modellschichten, deren Außenkonturen den des zu modellierenden Körperteiles entsprechen, sind außerdem in dem Artikel "Fertigung von Knochenmodellen nach Computer-Tomographie-Daten zur Verwendung in Chirurgie und Orthopädie", Biomedizinische Technik, Band 30, Heft 5, Mai 1985, Seiten 111 bis 114, beschrieben.

Ferner ist in der EP-A-02 55 797 ein Verfahren zur Herstellung einer Endoprothese mit individueller Anpassung unter Heranziehung eines mittels Computertomographie erzeugten, mindestens in datenmäßiger Repräsentation vorhandenen, dreidimensionalen Modells des durch die Prothese zu ersetzenden Körperteils beschrieben. Dabei wird die Prothese mittels einer numerisch gesteuerten Fräsmaschine ausgehend von in unterschiedlichen Größen vorhandenen Rohlingen hergestellt. In dem zu ersetzenden Körperteil vorhandene geschlossene Hohlräume können also bei der Herstellung der Prothese nicht reproduziert werden. Selbst

wenn die Rohlinge Hohlräume enthielten, könnten diese den individuellen Gegebenheiten nicht entsprechen. Sie könnten diesen auch nicht angepaßt werden, da dies mittels einer Fräsmaschine jedenfalls bei völlig geschlossenen Hohlräumen unmöglich wäre.

Auch in der FR-A-25 77 697 ist ein Verfahren zur Herstellung eines individuell angepaßten chirurgischen Implantats beschrieben, welches zur Aufnahme in dem Markkanal eines Röhrenknochens bestimmt ist. Dabei werden auf Grundlage einer Anzahl von Schnittbildern des Röhrenknochens Daten ermittelt, die die dreidimensionale Gestalt des Markkanals beschreiben. Auf Grundlage dieser Daten wird ein den jeweils vorliegenden individuellen Gegebenheiten angepaßtes Implantat, z.B. eine Hüftgelenkprothese, mittels einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine gefertigt. Auch hier besteht keine Möglichkeit in dem durch die Prothese zu ersetzenden Körperteil etwa vorhandene völlig geschlossene Hohlräume naturgetreu zu reproduzieren.

Die bekannten Verfahren zur Herstellung eines maßstäblichen dreidimensionalen Modells eines Körperteiles gestatten es lediglich, ein Modell herzustellen, das hinsichtlich seiner äußeren Oberfläche ein maßstäbliches Abbild des Körperteiles darstellt, d.h., daß das Modell keine in dem Körperteil etwa vorhandene völlig geschlossene Hohlräume aufweisen kann. Ebenso können nach außen zwar offene, aber starke Hinterschneidungen aufweisende Vertiefungen nicht modelliert werden. Beides wäre aber insbesondere dann, wenn es darum geht, mittels des Modells chirurgische Eingriffe zu planen, von besonderem Interesse.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art, das es gestattet, Modelle eines Körperteiles herzustellen, die auch hinsichtlich etwa in dem Körperteil enthaltener völlig geschlossener Hohlräume oder starke Hinterschneidungen aufweisender Vertiefungen dem Körperteil voll entsprechen, und eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens anzugeben.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren gelöst, das folgende Verfahrensschritte umfaßt:

a) mittels eines Schnittbildgerätes werden Schnittbilder einer Anzahl von durch den Körper des Lebewesens verlaufender, das Körperteil enthaltender Schichten angefertigt, indem für Volumenelemente der Schichten der Wert einer für unterschiedliche Körperteile des Lebewesens unterschiedlichen charakteristischen physikalischen Größe und die Koordinaten der Volumenelemente in bezug auf ein festes Koordinatensystem ermittelt werden,

b) aus den Koordinaten der in den Schnittbildern enthaltenen Volumenelemente und den diesen zugeordneten Werten der charakteristischen physikalischen Größe werden der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles entsprechende Daten ermittelt, indem durch Vergleich der Werte der charakteristischen physikalischen Größe der einzelnen Volumenelemente der Schichten mit wenigstens einem das Körperteil kennzeichnenden Kennwert der charakteristischen physikalischen Größe diejenigen Volumenelemente identifiziert werden, die Volumenelemente des Körperteiles sind, und

c) die der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles entsprechenden Daten werden einem Modellgenerator zugeführt, mittels dessen anhand der Daten unter Berücksichtigung eines gewählten Maß-

stabes das Modell durch Urformen aus einem Modellwerkstoff derart erzeugt wird, daß das Modell für jedes Volumenelement des Körperteiles ein entsprechendes Volumenelement des Modellwerkstoffes aufweist.

Im Falle des erfindungsgemäßen Verfahrens werden also nicht nur der äußeren Oberfläche des Körperteiles entsprechende Daten ermittelt, sondern vielmehr die in den einzelnen Schichten enthaltenen Volumenelemente des Körperteiles identifiziert und als der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles entsprechende Daten der Modellherstellung zugrundegelegt. Da der Modellgenerator, anhand dieser Daten ein Modell derart erzeugt, daß das Modell für jedes Volumenelement des Körperteiles ein entsprechendes Volumenelement des Modellwerkstoffes aufweist, was dadurch möglich ist, daß der Modellgenerator das Modell nicht spanabhebend (z.B. Fräsen), sondern durch Urformen erzeugt, ergibt sich ein Modell, das nicht nur hinsichtlich der Gestalt seiner äußeren Oberfläche sondern auch hinsichtlich etwa vorhandener völlig geschlossener Hohlräume oder starke Hinterschneidungen aufweisender Vertiefungen dem Körperteil voll entspricht. Als Schnittbildgerät kann übrigens ein Computertomograph, ein Ultraschall-Schnittbildgerät oder ein Kernspintomograph vorgesehen sein.

Wenn nur eine beschränkte Anzahl von Schnittbildern angefertigt werden kann, z.B. um bei der Verwendung eines Computertomographen als Schnittbildgerät die Strahlungsbelastung für das Lebewesen gering zu halten, und dann die in den Schnittbildern dargestellten Schichten des Körperteiles nicht unmittelbar aneinander grenzen, kann vorgesehen sein, daß die Koordinaten derjenigen Volumenelemente des Körperteiles, die zwischen einander benachbarten in Schnittbildern dargestellten Schichten des Körperteiles liegen, durch ein Rechenverfahren näherungsweise ermittelt werden. Das Rechenverfahren kann dabei einer linearen Interpolation entsprechen.

Der eigentliche Herstellvorgang des Modells gestaltet sich dann besonders einfach, wenn die Volumenelemente des Modellwerkstoffes im Zuge des Urformens miteinander verbunden werden. Eine weitere Vereinfachung läßt sich erzielen, wenn das Modell aus einer Anzahl von miteinander verbundenen Modellschichten gebildet wird.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfaßt ein Schnittbildgerät, das über eine Datenleitung mit einem Modellgenerator verbunden ist, der eine Steuereinrichtung und eine Generatoreinrichtung umfaßt, wobei die Steuereinrichtung die Generatoreinrichtung anhand der mittels des Schnittbildgerätes ermittelten, der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles entsprechenden Daten zur Erzeugung des Modells steuert. Die Generatoreinrichtung kann dabei eine Volumenelemente eines Modellwerkstoffes abgebende Spritzdüse und eine Basisplatte aufweisen, die relativ zueinander dreidimensional verstellbar sind, wobei die Steuereinrichtung zur Erzeugung jeweils einer Modellschicht die Spritzdüse und die Basisplatte in zueinander parallelen Ebenen derart relativ zueinander verstellt, daß die Spritzdüse aufeinanderfolgend relativ zu der Basisplatte Positionen einnimmt, die den Koordinaten der der jeweiligen Modellschicht entsprechenden Volumenelemente des Körperteiles entsprechen, die Steuereinrichtung die Spritzdüse veranlaßt, in jeder der Positionen ein Volumenelement des Modellwerkstoffes

abzugeben, und die Steuereinrichtung den Abstand zwischen der Spritzdüse und der Basisplatte zur Erzeugung aufeinanderfolgender Modellschichten entsprechend der Schichtdicke vergrößert. Eine Generatoreinrichtung dieser Art ist an sich aus der FR-A-25 83 333 bekannt. Als Modellwerkstoff kommen metallische Werkstoffe mit niedrigem Schmelzpunkt, keramische Werkstoffe und insbesondere polymere Werkstoffe in Frage, die erforderlichenfalls in einen zähflüssigen Zustand versetzt werden, um sie mittels der Spritzdüse abgeben zu können, worauf der jeweilige Modellwerkstoff wieder zum Erstarren gebracht wird.

Nach einer Variante der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die Generatoreinrichtung eine Einrichtung zum Härten des Modellwerkstoffes aufweist. Wird als Modellwerkstoff z.B. geschmolzenes Metall oder geschmolzener Kunststoff verwendet, kann vorgesehen sein, daß die Härteeinrichtung einen Kühlmittelstrom abgibt, der den Modellwerkstoff zum Erstarren bringt. Im Falle keramischer Modellwerkstoffe kann vorgesehen sein, daß die Härteeinrichtung mit Wärme auf den Modellwerkstoff einwirkt, um diesen zu verfestigen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Spritzdüse als Modellwerkstoff eines mittels UV-Licht härtbaren Kunststoff abgibt und die Einrichtung zum Härten des Modellwerkstoffes durch eine UV-Lichtquelle gebildet ist. In jedem Falle ist es von Vorteil, wenn die Einrichtung zum Härten des Modellwerkstoffes gemäß einer Ausführungsform der Erfindung mit der Spritzdüse gekoppelt ist.

Das Modell kann auf besonders einfache Weise erzeugt werden, wenn gemäß einer Ausführungsform der Erfindung die Generatoreinrichtung ein Bad eines mittels Licht aushärtbaren polymeren Werkstoffes, in dem eine höhenverstellbare Plattform angeordnet ist, und eine über dem Spiegel des Bades in einer zur Ebene des Spiegels parallelen Ebene verstellbare Lichtquelle aufweist, wobei die Steuereinrichtung die Lichtquelle zur Erzeugung jeweils einer Modellschicht derart relativ zu der Plattform verstellt, daß diese aufeinanderfolgend relativ zu der Plattform Positionen einnimmt, die den Koordinaten der der jeweiligen Modellschicht entsprechenden Volumenelemente des Körperteiles entsprechen, und wobei die Steuereinrichtung die Plattform zur Erzeugung aufeinanderfolgender Modellschichten jeweils um einen der Dicke der zu erzeugenden Modellschicht entsprechenden Betrag absenkt. Eine solche Generatoreinrichtung ist an sich aus der EP-A-01 71 069 bekannt.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den beigefügten Zeichnungen dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 in schematischer Darstellung eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung maßstäblicher dreidimensionaler Modelle von Körperteilen,

Fig. 2 in schematischer Darstellung den Modellgenerator der erfindungsgemäßen Vorrichtung, und

Fig. 3 ein Detail des Modellgenerators nach Fig. 2, und

Fig. 4 eine Variante eines Modellgenerators in schematischer Darstellung.

Die in der Fig. 1 dargestellte Vorrichtung umfaßt ein Schnittbildgerät, nämlich einen insgesamt mit 2 bezeichneten, an sich bekannten Computertomographen. Dieser besitzt eine Röntgenröhre 3, die zusammen mit einem Strahlenempfänger 4 eine Strahlenmeßeinrichtung bildet. Der Strahlenempfänger 4 weist eine Reihe von Einzeldetektoren 4a, 4b usw. auf. Die Röntgenröhre 3 ist

mit dem Strahlenempfänger 4 über einem Drehrahmen 5 fest verbunden und sendet ein fächerförmiges Röntgenstrahlenbündel 6 aus, das eine ein zu modellierendes Körperteil des Lebewesens, z.B. wie dargestellt den Schädelknochen eines menschlichen Patienten 1, enthaltende Schicht 7 des Patienten 1 durchsetzt. Der Patient 1 liegt auf einer Patientenliege 8. Senkrecht zu der Schicht 7 entspricht die Ausdehnung des Röntgenstrahlenbündels 6 der Dicke der Schicht 7. Die Anzahl der Einzeldetektoren 4a, 4b usw. des Strahlenempfängers 4 ist der gewünschten Bildauflösung entsprechend gewählt. Jeder Einzeldetektor 4a, 4b usw. liefert ein elektrisches Signal, das der Intensität der jeweils empfangenen Röntgenstrahlung entspricht.

Die Einzeldetektoren 4a, 4b usw. des Strahlenempfängers 4 sind an eine elektronische Recheneinrichtung 9 angeschlossen, die aus den Ausgangssignalen der Einzeldetektoren 4a, 4b usw. während der Drehung der Strahlenmeßeinrichtung 3, 4 um eine Drehachse 10, die parallel zur Längsrichtung der Patientenliege 8 verläuft, die Röntgenstrahlungs-Schwächungswerte der Volumenelemente der Schicht 7 berechnet. Bei dem Röntgenstrahlungs-Schwächungswert handelt es sich um eine charakteristische physikalische Größe, deren Wert für unterschiedliche Körperteile des Patienten 1 unterschiedliche Werte besitzt. Die Koordinaten der Volumenelemente werden in bezug auf ein gerätefestes rechtwinkliges Koordinatensystem mit den Achsen x, y, z ermittelt. Anhand der ermittelten Röntgenstrahlungs-Schwächungswerte der einzelnen Volumenelemente einer abgetasteten Schicht 7 ist die elektronische Recheneinrichtung 9 in der Lage, ein Schnittbild dieser Schicht zu errechnen, das auf einem Sichtgerät 11 wiedergegeben werden kann, wobei einem bestimmten Röntgenstrahlungs-Schwächungswert ein bestimmter Grauwert in der Darstellung des Schnittbildes entspricht.

Gewöhnlich wird die Röntgenröhre 3 während des Ab tastens einer Schicht 7 derart gepulst, daß beispielsweise bei einer vollständigen Drehung der Strahlenmeßeinrichtung 3, 4 um die Achse 10 für einen vollständigen Ab tastvorgang pro Winkelgrad ein Satz von Ausgangssignalen des Strahlenempfängers 4 erzeugt wird. Auf diese Weise werden bei beispielsweise 512 Einzeldetektoren im Strahlenempfänger 4 pro Ab tastvorgang 360×512 Ausgangssignale erzeugt, die der Berechnung der Röntgenstrahlungs-Schwächungswerte der Volumenelemente einer Schicht 7 zugrundegelegt werden. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind der Übersichtlichkeit halber aber nicht sämtliche Einzeldetektoren, sondern nur einige wenige gezeigt.

Die Drehung des Drehrahmens 5 wird mittels eines Motors 12 bewirkt, der von der elektronischen Recheneinrichtung 9 in der erforderlichen Weise betätigt wird. Die Röntgenröhre 3 wird durch eine Generatoreinrichtung 13 mit den benötigten Spannungen versorgt, wobei die Generatoreinrichtung 13 ebenfalls von der elektronischen Recheneinrichtung 9 in der erforderlichen Weise gesteuert wird.

Die Patientenliege 8 ist mittels eines durch die elektronische Recheneinrichtung 9 gesteuerten Motors 14 in Richtung der Achse 10 verstellbar, so daß es möglich ist, Schnittbilder von in Richtung der Achse 10 aufeinanderfolgenden, parallel zueinander verlaufenden Schichten 7 des Patienten 1 abzutasten, die jeweils das zu modellierende Körperteil, also den Schädelknochen des Patienten 1, enthalten. Die von der elektronischen Recheneinrichtung 9 aus den Ausgangssignalen 4 ermittelten Röntgenstrahlungs-Schwächungswerte der Volumen-

elemente sämtlicher abgetasteter Schichten 7 sowie die Koordinaten der jeweiligen Volumenelemente werden in der entsprechend ausgebildeten elektronischen Recheneinrichtung 9 als eine der Anzahl der Schichten 7 entsprechende Anzahl von Schnittbildern gespeichert.

Aus den Koordinaten der in den Schnittbildern enthaltenen Volumenelemente und den diesen zugeordneten Röntgenstrahlungs-Schwächungswerten ermittelt die entsprechend ausgebildete elektronische Recheneinrichtung 9 der dreidimensionalen Gestalt des zu modellierenden Körperteiles entsprechende Daten, indem sie die Röntgenstrahlungs-Schwächungswerte der einzelnen Volumenelemente der Schichten 7 mit wenigstens einem das zu modellierende Körperteil kennzeichnenden Röntgenstrahlungs-Schwächungswert vergleicht und so diejenigen Volumenelemente identifiziert, die Volumenelemente des zu modellierenden Körperteiles sind. Der dem jeweils zu modellierenden Körperteil entsprechende Röntgenstrahlungs-Schwächungswert kann der elektronischen Recheneinrichtung 9 über eine mit dieser verbundene Tastatur 15 eingegeben werden. Der dem jeweiligen Körperteil entsprechende Röntgenstrahlungs-Schwächungswert kann aus einem oder mehreren Schnittbildern, die auf dem Sichtgerät 11 dargestellt werden, anhand des Grauwertes, mit dem das zu modellierende Körperteil in dem bzw. den Schnittbildern(n) dargestellt ist, ermittelt werden. Falls ein zu modellierendes Körperteil in den Schnittbildern mit mehreren Grauwerten dargestellt ist, kann der elektronischen Recheneinrichtung 9 ein entsprechender Bereich des Röntgenstrahlungs-Schwächungswertes eingegeben werden.

Die der dreidimensionalen Gestalt des zu modellierenden Körperteiles entsprechenden Daten, d.h. die Koordinaten derjenigen Volumenelemente der Schnittbilder, die als Volumenelemente des zu modellierenden Körperteiles identifiziert wurden, werden einem insgesamt mit 16 bezeichneten Modellgenerator zugeführt, der ein Modell des zu modellierenden Körperteiles durch Urformen aus einem Modellwerkstoff derart erzeugt, daß das Modell für jedes Volumenelement des zu modellierenden Körperteiles ein entsprechendes Volumenelement des Modellwerkstoffes und für jede Schicht des zu modellierenden Körperteiles eine entsprechende Modellschicht aufweist. Dabei besteht die Möglichkeit, über die Tastatur 15 einen Maßstab einzugeben, den die elektronische Recheneinrichtung 9 bei der Ermittlung der für den Modellgenerator 16 bestimmten Daten berücksichtigt. Falls die mittels des Computertomographen 2 abgetasteten Schichten 7 nicht unmittelbar aneinander grenzen, werden diejenigen Volumenelemente des zu modellierenden Körperteiles, die zwischen einander benachbarten abgetasteten Schichten liegen, mittels der elektronischen Recheneinrichtung auf Grundlage eines geeigneten Rechenverfahrens näherungsweise ermittelt, und zwar derart, daß die entsprechenden Daten in einer Form vorliegen, als seien sie in der zuvor beschriebenen Weise aus Schnittbildern ermittelt worden.

Der schematisch angedeutete Modellgenerator 16 umfaßt übrigens eine Steuereinrichtung 17 und eine Generatoreinrichtung 18, wobei die Steuereinrichtung 17 die Generatoreinrichtung 18 anhand der mittels des Computertomographen 2 ermittelten, der dreidimensionalen Gestalt des zu modellierenden Körperteiles entsprechenden Daten zur Erzeugung des Modells steuert. Die Steuereinrichtung 17 steht einerseits über eine Datenleitung 19 mit der elektronischen Recheneinrichtung 9 des Computertomographen 2 und andererseits über

Steuerleitungen 20, von denen der Übersichtlichkeit halber nur eine dargestellt ist, mit der Geneinatoreinrichtung 18 in Verbindung.

In den Fig. 2 und 3 ist ein Ausführungsbeispiel eines Modellgenerators dargestellt. Dabei ist die Steuereinrichtung 17 schematisch angedeutet. Die Geneinatoreinrichtung 18 weist eine Basisplatte 21 und eine relativ zu dieser dreidimensional verstellbare Spritzdüse 22 zur Abgabe von Modellwerkstoff auf. Die Spritzdüse 22 ist an einem ersten Wagen 23 befestigt, der mittels eines ersten Schrittmotors 24 längs einer ersten Führungsstange 25 verfahrbar ist. Die erste Führungsstange 25 ist an einem zweiten Wagen 26 befestigt, der mittels eines zweiten Schrittmotors 27 längs einer zweiten Führungsstange 28 verfahrbar ist. Die zweite Führungsstange 28 ist an einem dritten Wagen 29 befestigt, der mittels eines dritten Schrittmotors 30 längs einer fest mit der Basisplatte 21 verbundenen dritten Führungsstange 31 verstellbar ist. Dabei ist die Anordnung so getroffen, daß die Führungsstangen 25, 28, 31 parallel zu den Achsen X, Y, Z eines rechtwinkligen Koordinatensystems verlaufen, wobei die Achsen X, Y, Z den Achsen x, y, z des auf den Computertomographen 2 bezogenen rechtwinkligen Koordinatensystems entsprechen. Die Spritzdüse 22 kann also mittels der Steuereinrichtung 17 zur Abgabe eines Volumenelementes von Modellwerkstoff, das einem Volumenelement des zu modellierenden Körperteiles mit bestimmten Koordinaten x, y, z entspricht, in eine Position gebracht werden, in der sie die entsprechenden Koordinaten X, Y, Z einnimmt. Die Schrittmotore 24, 27, 30 stehen übrigens über Steuerleitungen 20a, 20b, 20c mit der Steuereinrichtung 17 in Verbindung.

Die Spritzdüse 22 steht über einer flexible Schlauchleitung 32 mit einem Vorratsbehälter 33 in Verbindung, der als Modellwerkstoff einen zähflüssigen, unter der Einwirkung von UV-Licht härtbaren Kunststoff enthält. Um Modellwerkstoff aus dem Vorratsbehälter 33 durch die Schlauchleitung 32 zu der Spritzdüse 22 transportieren zu können, ist eine Pumpe 34 vorgesehen, die über eine Steuerleitung 20d mit der Steuereinrichtung 17 in Verbindung steht. Wie aus der Fig. 2 in Verbindung mit der Fig. 3 ersichtlich ist, enthält die Spritzdüse 22 eine UV-Lichtquelle 35, die mittels einer flexiblen Leitung 35a mit einer Spannungsversorgung 36 verbunden ist und dazu dient, von der Spritzdüse 22 abgegebenen Modellwerkstoff zu härten.

Sind mittels des Computertomographen 2 und der zu diesem gehörigen elektronischen Recheneinrichtung 9 die der dreidimensionalen Gestalt des zu modellierenden Körperteiles entsprechenden Daten ermittelt, werden diese der Steuereinrichtung 17 des Modellgenerators 16 zugeführt. Diese betätigt zunächst über die Steuerleitung 20c den Schrittmotor 30 derart, daß sich die Spritzdüse 22 um ein Maß, das der Dicke einer Modellschicht entspricht, oberhalb der Basisplatte 21 befindet. Die Steuereinrichtung 17 betätigt dann über die Steuerleitungen 20a, 20b die Schrittmotore 24, 27 derart, daß diese die Spritzdüse 22 aufeinanderfolgend in Positionen mit den Koordinaten Y, X bringen, die den Koordinaten der in der z-Richtung ersten Schicht 7 des zu modellierenden Körperteiles enthaltenen Volumenelementen mit den Koordinaten x, y entsprechen. Jedesmal wenn die Spritzdüse 22 eine dieser Positionen einnimmt, betätigt die Steuereinrichtung 17 über die Steuerleitung 20d die Pumpe 34 derart, daß die Spritzdüse eine Menge des Modellwerkstoffes abgibt, die einem Volumenelement des Modells, in Fig. 2 ist stark schematisiert das Modell 37 eines menschlichen Schädels dargestellt, ent-

spricht. Auf diese Weise wird eine in Z-Richtung erste Modellschicht erzeugt, die für jedes in der z-Richtung ersten Schicht 7 enthaltenes Volumenelement des zu modellierenden Körperteiles ein entsprechendes Volumenelement des Modellwerkstoffes aufweist. Danach betätigt die Steuereinrichtung 17 den Schrittmotor 30 derart, daß sich der Abstand zwischen der Spritzdüse 22 und der Basisplatte um das zur Erzeugung in Z-Richtung nächsten Modellschicht entsprechende Maß, das der Schichtdicke der Modellschicht entspricht, vergrößert. Die in Z-Richtung zweite Modellschicht wird dann in der zuvor beschriebenen Weise erzeugt. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis das Modell 37, es handelt sich, wie schematisch angedeutet ist, um das Modell eines Schädelknochens, für sämtliche Volumenelemente des zu modellierenden Körperteiles entsprechende Volumenelemente des Modellwerkstoffes aufweist. Demzufolge stellt das Modell 37 eine exakte Reproduktion des zu modellierenden Schädelknochens dar, das in naturgetreuer Weise auch die Schädelhöhle aufweist, die durch spanabhebende Verfahren, z.B. Fräsen, mit vertretbarem Aufwand nicht herstellbar wäre. Die einzelnen Volumenelemente des Modellwerkstoffes, die mittels der UV-Lichtquelle 35 jeweils sofort nach ihrem Austritt aus der Spritzdüse 22 ausgehärtet werden, verbinden sich während dieses Vorganges miteinander, so daß schließlich ein durch Urformen erzeugtes Modell 37 aus dem Modellwerkstoff vorliegt, dessen Volumenelemente im Zuge des Urformens schichtweise miteinander verbunden wurden. Das so erhaltene Modell 37 wird von der Basisplatte 21 getrennt.

In der Fig. 4 ist eine Variante eines Modellgenerators dargestellt. Dieser Modellgenerator 16a weist wieder eine Steuereinrichtung 17a und eine Geneinatoreinrichtung 18a auf. Die Geneinatoreinrichtung 18a umfaßt ein wannenförmiges Bad 38, welches als Modellwerkstoff einen mittels Licht aushärtbaren polymeren Werkstoff enthält. In dem in dem Bad 38 enthaltenen Modellwerkstoff ist eine Plattform 39 angeordnet, die mittels einer mechanischen Einrichtung 40, die mittels eines über eine Steuerleitung 41a mit der Steuereinrichtung 17a verbundenen Schrittmotors 42 betätigt ist, in dem Bad 38 relativ zu dessen Spiegel 43 höhenverstellbar ist. Unmittelbar über dem Spiegel 43 des Bades 38 ist eine Lichtquelle 44 vorgesehen. Diese ist an einem ersten Wagen 45 befestigt, der mittels eines Schrittmotors 46, der über eine Steuerleitung 41b mit der Steuereinrichtung 17a in Verbindung steht, längs einer ersten Führungsstange 47 verstellbar. Die erste Führungsstange 47 ist an einem zweiten Wagen 48 angebracht, der mittels eines Schrittmotors 49, der über eine Steuerleitung 41c mit der Steuereinrichtung 17a in Verbindung steht, längs einer zweiten Führungsstange 50 verstellbar ist. Die zweite Führungsstange 50 ist mittels Halterungen 50a, von denen in Fig. 4 nur eine sichtbar ist, an dem Bad 38 angebracht. Die Führungsstangen 47, 50 sind derart angeordnet, daß die Lichtquelle 44 in einer Ebene verstellbar ist, die parallel zur Ebene des Spiegels 43 des Bades 38 verläuft. Die Führungsstangen 47, 50 verlaufen parallel zu den Achsen X, Y eines rechtwinkligen Koordinatensystems mit den Achsen X, Y, Z, wobei die Achsen X, Y den Achsen x, y des auf den Computertomographen 2 bezogenen rechtwinkligen Koordinatensystems entsprechen. Die Plattform 39 ist in Richtung der Achse Z des rechtwinkligen Koordinatensystems X, Y, Z verstellbar, wobei die Achse Z der Achse z des auf den Computertomographen 2 bezogenen Koordinatensystems x, y, z entspricht. Mittels der Steuereinrichtung

17a können also die Lichtquelle 44 und die Plattform 39 in Positionen relativ zueinander gebracht werden, in der die Koordinaten der Lichtquelle 44 bezogen auf die Plattform 39 den Koordinaten eines Volumenelementes des zu modellierenden Körperteiles in dem auf den Computertomographen 2 bezogenen Koordinatensystem x, y, z entsprechen.

Die Lichtquelle 44 kann mittels eines über eine Steuerleitung 41d mittels der Steuereinrichtung 17a betätigbaren Schalters 51, z.B. eines Relais oder dergleichen, an eine Spannungsversorgung 52 angeschaltet werden, mit der sie über eine flexible Leitung 53 in Verbindung steht. Das von der Lichtquelle 44 ausgehende Licht ist in einer solchen Weise gebündelt, daß jedesmal, wenn die Lichtquelle 44 aktiviert wird, ein Volumenelement des Modellwerkstoffes bestrahlt und ausgehärtet wird.

Zur Erzeugung eines Modells wird so vorgegangen, daß die Steuereinrichtung 17a den Schrittmotor 42 zunächst derart betätigt, daß die Plattform 39 eine Position einnimmt, in der sie sich um ein Maß, das der Dicke einer Modellschicht entspricht, unterhalb des Spiegels 43 des Bades 38 befindet. Zur Erzeugung der in Z-Richtung ersten Modellschicht betätigt dann die Steuereinrichtung 17a die Schrittmotore 46, 49 derart, daß die Lichtquelle 44 aufeinanderfolgend in Positionen mit den Koordinaten X, Y gebracht wird, die den Koordinaten x, y der in der z -Richtung ersten Schicht enthaltenen Volumenelemente des zu modellierenden Körperteiles entsprechen. Jedesmal wenn die Lichtquelle 44 eine solche Position einnimmt, wird sie durch Betätigen des Schalters 51 mittels der Steuereinrichtung 17a zur Abgabe von Licht aktiviert, wodurch eine einem Volumenelement des Modellwerkstoffes entsprechende Menge des in dem Bad 38 befindlichen Modellwerkstoffes ausgehärtet wird. Dabei verbinden sich benachbarte Volumenelemente miteinander. Sind auf diese Weise sämtliche Volumenelemente der in Z -Richtung ersten Modellschicht erzeugt, betätigt die Steuereinrichtung 17a den Schrittmotor 42 derart, daß die Plattform 39 in Z -Richtung um ein Maß abgesenkt wird, das der Schichtdicke einer Modellschicht entspricht. Zur Erzeugung der zweiten Modellschicht wird dann entsprechend verfahren. Die beschriebenen Vorgänge wiederholen sich zur Erzeugung aller weiteren Modellschichten, wobei sich die Volumenelemente benachbarter Modellschichten miteinander verbinden, bis schließlich ein durch Urformen erzeugtes Modell vorliegt, das für jedes Volumenelement des zu modellierenden Körperteiles ein entsprechendes Volumenelement des Modellwerkstoffes enthält und dessen Volumenelemente und Modellschichten im Zuge des Urformens miteinander verbunden wurden.

In Fig. 4 sind zwei Modellschichten 54a, 54b eines nur teilweise fertiggestellten Modells 54 angedeutet.

Vorzugsweise findet bei dem Modellgenerator 16a ein polymerer Werkstoff Verwendung, der mittels UV-Licht aushärtbar ist. Bei der Lichtquelle 44 handelt es sich dann um eine UV-Lichtquelle. Sofern die Generatoreinrichtung 18a lichtdicht gekapselt ist, kann aber auch ein polymerer Werkstoff Verwendung finden, der unter der Einwirkung von sichtbarem Licht aushärtet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines maßstäblichen dreidimensionalen Modells (37; 54) eines zu einem Körper eines Lebewesens (1) gehörigen Körperteiles, umfassend folgende Verfahrensschritte:

a) mittels eines Schnittbildgerätes (2) werden Schnittbilder einer Anzahl von durch den Körper des Lebewesens (1) verlaufender, das Körperteil enthaltender Schichten (7) angefertigt, indem für Volumenelemente der Schichten (7) der Wert einer für unterschiedliche Körperteile des Lebewesens (1) unterschiedlichen charakteristischen physikalischen Größe und die Koordinaten der Volumenelemente in bezug auf ein festes Koordinatensystem (x, y, z) ermittelt werden,

b) aus den Koordinaten (x, y, z) der in den Schnittbildern enthaltenen Volumenelemente und den diesen zugeordneten Werten der charakteristischen physikalischen Größe werden der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles entsprechende Daten ermittelt, indem durch Vergleich der Werte der charakteristischen physikalischen Größe der einzelnen Volumenelemente der Schichten mit wenigstens einem das Körperteil kennzeichnenden Kennwert der charakteristischen physikalischen Größe diejenigen Volumenelemente identifiziert werden, die Volumenelemente des Körperteiles sind, und

c) die der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles entsprechenden Daten werden einem Modellgenerator (16; 16a) zugeführt, mittels dessen anhand der Daten unter Berücksichtigung eines gewählten Maßstabes das Modell (37; 54) durch Urformen aus einem Modellwerkstoff derart erzeugt wird, daß das Modell (37; 54) für jedes Volumenelement des Körperteiles ein entsprechendes Volumenelement des Modellwerkstoffes aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koordinaten (x, y, z) derjenigen Volumenelemente des Körperteiles, die zwischen einander benachbarten, in Schnittbildern dargestellten Schichten (7) des Körperteiles liegen, durch ein Rechenverfahren näherungsweise ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Volumenelemente des Modellwerkstoffes im Zuge des Urformens miteinander verbunden werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Modell (37; 54) aus einer Anzahl von miteinander verbundenen Modellschichten (54a, 54b) gebildet wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung ein Schnittbildgerät (2) umfaßt, das über eine Datenleitung (19; 19a) mit einem Modellgenerator (16; 16a) verbunden ist, der eine Steuereinrichtung (17; 17a) und eine Generatoreinrichtung (18; 18a) umfaßt, wobei die Steuereinrichtung (17; 17a) die Generatoreinrichtung (18; 18a) anhand der mittels des Schnittbildgerätes (2) ermittelten, der dreidimensionalen Gestalt des Körperteiles entsprechenden Daten zur Erzeugung des Modells (37; 54) steuert.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Generatoreinrichtung (18) ein Volumenelement eines Modellwerkstoffes abgebende Spritzdüse (22) und eine Basisplatte (21) aufweist, die relativ zueinander dreidimensional verstellbar sind, wobei die Steuereinrichtung (17) zur

Erzeugung jeweils einer Modellschicht die Spritzdüse (22) und die Basisplatte (21) in zueinander parallelen Ebenen derart relativ zueinander verstellt, daß die Spritzdüse (22) aufeinanderfolgend relativ zu der Basisplatte (21) Positionen einnimmt, die den Koordinaten (X, Y) der der jeweiligen Modellschicht entsprechenden Volumenelemente des Körperteiles entsprechen, die Steuereinrichtung (17) die Spritzdüse (22) veranlaßt, in jeder der Positionen ein Volumenelement des Modellwerkstoffes abzugeben, und die Steuereinrichtung (17) den Abstand (Z) zwischen der Spritzdüse (22) und der Basisplatte (21) zur Erzeugung aufeinanderfolgender Modellschichten entsprechend der Schichtdicke vergrößert.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Generatoreinrichtung (18) eine Einrichtung (35) zum Härten des Modellwerkstoffes aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Spritzdüse (22) als Modellwerkstoff einen mittels UV-Licht härtbaren Kunststoff abgibt und die Einrichtung (35) zum Härten des Modellwerkstoffes durch eine UV-Lichtquelle gebildet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (35) zum Härten des Modellwerkstoffes mit der Spritzdüse (22) gekoppelt ist:

10. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Generatoreinrichtung (18a) ein Bad (38) eines mittels Licht aushärtbaren polymeren Werkstoffes, in dem eine höhenverstellbare Plattform (39) angeordnet ist, und eine über dem Spiegel (43) des Bades (38) in einer zur Ebene des Spiegels (43) parallelen Ebene verstellbare Lichtquelle (44) aufweist, wobei die Steuereinrichtung (17a) die Lichtquelle (44) zur Erzeugung jeweils einer Modellschicht (54a, 54b) derart relativ zu der Plattform (39) verstellt, daß diese aufeinanderfolgend relativ zu der Plattform (39) Positionen einnimmt, die den Koordinaten (X, Y) der der jeweiligen Modellschicht (54a, 54b) entsprechenden Volumenelemente des Körperteiles entsprechen, und wobei die Steuereinrichtung (17a) die Plattform (39) zur Erzeugung aufeinanderfolgender Modellschichten (54a, 54b) jeweils um einen der Dicke der zu erzeugenden Modellschicht (54a, 54b) entsprechenden Betrag absenkt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

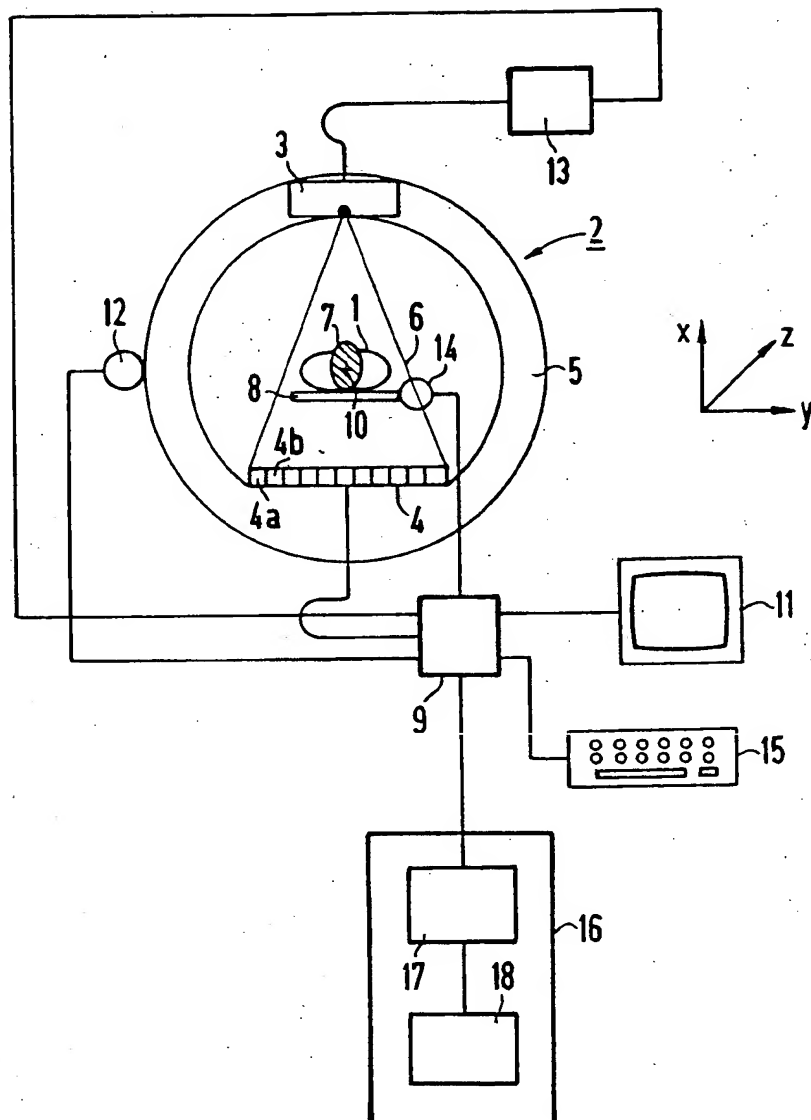


FIG 1



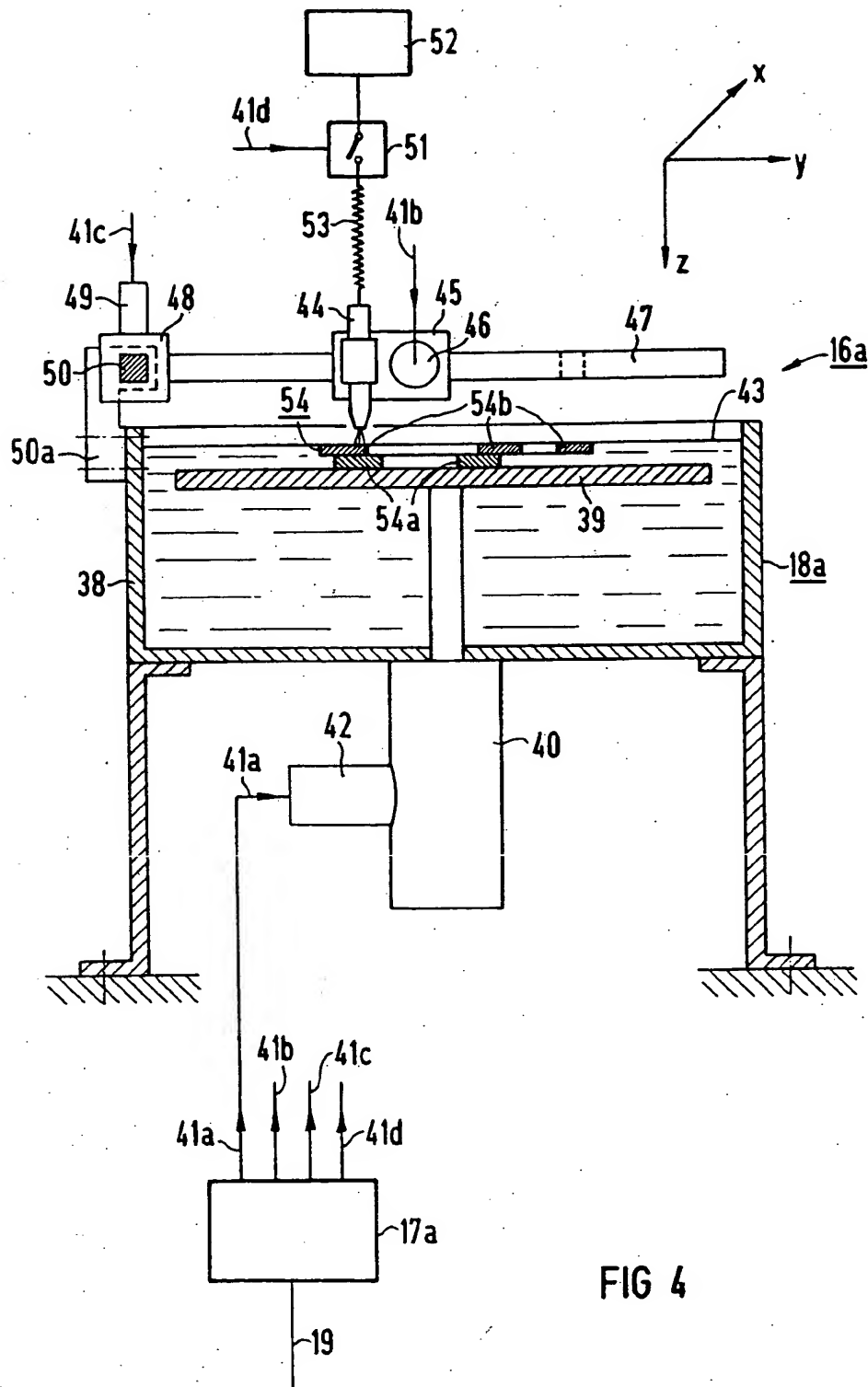


FIG 4

1/9/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

008238782 **Image available**
WPI Acc No: 1990-125783/*199017*
XRAM Acc No: C90-055194
XRPX Acc No: N90-097428

**producing scale model of part of body - computer converts patterns of
X-rays through sections of body into three-dimensional model which
includes voids and undercuts in its profile**

Patent Assignee: SIEMENS AG (SIEI)
Inventor: SCHMITT T
Number of Countries: 001 Number of Patents: 001
Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 3933142	A	19900419	DE 3933142	A	19891003	199017 B

Priority Applications (No Type Date): WO 88DE639 A 19881017

Abstract (Basic): DE 3933142 A

A process produces a three-dimensional scale model of a part of a living organism. (a) A device produces sections of a number of slices through the body concerned, the physical sizes of different parts and the coordinates x, y and z are determined (b) from these coordinates the three-dimensional shape data are obtained, and the values are compared with at least one characteristic value. (c) The data of the three-dimensional shape are fed to a model generator and converted into a scale model. Preferred material for the model is u/v-cured plastics.

ADVANTAGE - The method reproduces even totally enclosed voids or deep undercuts in the body concerned. (9pp Dwg.No. 1/4)

Title Terms: PRODUCE; SCALE; MODEL; PART; BODY; COMPUTER; CONVERT; PATTERN;
X-RAY; THROUGH; SECTION; BODY; THREE; DIMENSION; MODEL; VOID; UNDERCUT;
PROFILE

Derwent Class: A32; A95; P31; P32; S05

International Patent Class (Additional): A61B-006/03; A61F-002/00;
B29C-035/08

File Segment: CPI; EPI; EngPI

Manual Codes (CPI/A-N): A12-V03D

Manual Codes (EPI/S-X): S05-D02A1; S05-X

Plasdoc Codes (KS): 0212 0223 0229 2016 2020 2194 2198 2343 2362 2441 2493
2545 2768 2769

Polymer Fragment Codes (PF):

001 014 03- 231 246 353 359 371 375 431 473 476 643 645 687 720

THIS PAGE BLANK (USPTO)